

## PROJETO DE UMA TURBINA EÓLICA COM CANALIZADOR DE FLUXO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

CESAR LEANDRO VAIS COPATTI<sup>1</sup>, MAYARA GABRIELLE STALL<sup>2</sup> e JHONATAN ACACIO SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Mecânica, UNIVALI, Itajaí-SC, cesar\_1303@outlook.com;

<sup>2</sup>Acadêmica de Engenharia Mecânica, UNIVALI, Itajaí-SC, mayarastall@outlook.com;

<sup>3</sup>Docente e Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica, UNIVALI, Itajaí-SC, jhonatanacacio@univali.br.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2025

**RESUMO:** Este trabalho foca no desenvolvimento de uma turbina eólica tipo bocal/difusor para uso urbano, visando potencializar a extração de energia do vento. Baseando-se no princípio de Venturi, que aumenta a velocidade do vento ao canalizá-lo (energia  $\propto$  velocidade<sup>3</sup>), o estudo busca otimizar a geração. A metodologia inclui revisão bibliográfica, uso de conceitos de aerodinâmica, dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) para validação do modelo e Análise de Elementos Finitos (FEA) para componentes mecânicos. Um protótipo virtual 3D, com rotor Darrieus vertical, foi desenvolvido em CAD e validado via simulações CAE e CFD. Os resultados demonstram um ganho de 3 m/s na velocidade do vento pelo canalizador e um coeficiente de potência de 0,53 para o rotor, contribuindo para soluções energéticas sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Canalizador; CFD; Eficiência Energética; Turbinas Eólicas.

### DESIGN OF A WIND TURBINE WITH FLOW CHANNEL FOR ENERGY GENERATION

**ABSTRACT:** This work focuses on the development of a nozzle/diffuser type wind turbine for urban use, aiming to enhance the extraction of wind energy. Based on the Venturi principle, which increases wind speed by channeling it (energy  $\propto$  speed<sup>3</sup>), the study seeks to optimize generation. The methodology includes a literature review, use of aerodynamic concepts, Computational Fluid Dynamics (CFD) for model validation and Finite Element Analysis (FEA) for mechanical components. A 3D virtual prototype, with a vertical Darrieus rotor, was developed in CAD and validated via CAE and CFD simulations. The results demonstrate a gain of 3 m/s in wind speed by the channeler and a power coefficient of 0.53 for the rotor, contributing to sustainable energy solutions.

**KEYWORDS:** Plumber; CFD; Energy Efficiency; Wind Turbines.

### INTRODUÇÃO

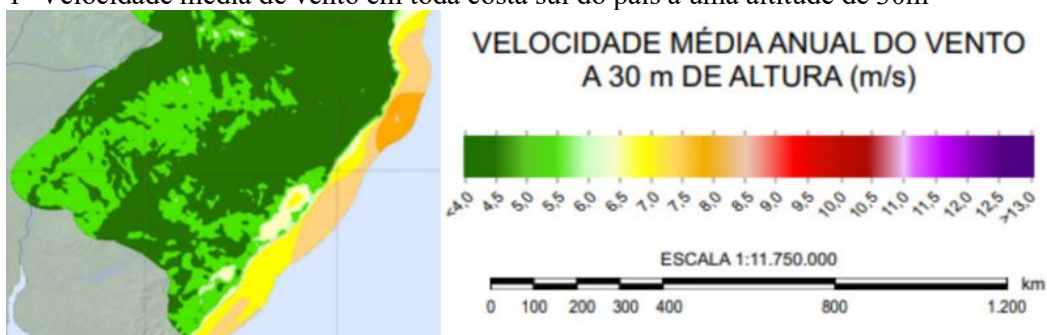
O crescimento populacional e o desenvolvimento urbano têm gerado uma grande demanda por energia. Isso fez com que os países diversificassem as suas matrizes energéticas, que na maioria dos casos ainda recorrem a fontes fósseis para geração de energia elétrica. Porém, a preocupação com as mudanças climáticas e os esforços para a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), levou a uma intensificação da busca por fontes de energias que gerassem menor impacto ambiental e que pudesse suprir as necessidades energéticas (Alaimo *et al.*, 2015). Ainda, segundo Alaimo *et al.*, (2015), entre as medidas mais difundidas está o crescente investimento em energias renováveis, dentre elas a energia eólica, a qual demonstrou-se muito atraente por se ter uma fonte abundante e por possuir um custo de manutenção baixo. Ademais, há uma concentração dos esforços no desenvolvimento de sistemas de geração de energia mais eficientes e de menor impacto ambiental, neste aspecto os dispositivos de geração de energia eólica têm-se destacado, se tornando uma medida importante em muitos países, pois esses dispositivos garantem maior segurança energética e possibilita o ajuste da

matriz de energia primária e conseqüentemente gera uma resposta às mudanças climáticas (Alves, 2020). Pensando nisso, este estudo tem como objetivo projetar uma turbina eólica com fluxo de vento canalizado através do princípio de Venturi, para aplicação em locais de baixa velocidade de vento como regiões urbanas. A turbina eólica proposta pode ser instalada sobre edifícios acima de 30m de altura.

## MATERIAL E MÉTODOS

Um estudo publicado pelos autores Oliveira e Garcia (2021) detalha como o vento possui uma homogeneidade na altitude de 30m na região litorânea, com suaves variações, sendo notáveis as extensas regiões planas, propícias para a aeração. A Figura 1, ilustra a velocidade do vento em um intervalo de 6,5 a 7,5 m/s para uma altura próxima de 30 m.

Figura 1- Velocidade média de vento em toda costa sul do país a uma altitude de 30m



De acordo com Miritz (2019) a energia do vento é proporcional a potência cúbica da velocidade do vento que incide imediatamente a montante da turbina. Sabendo disso, ao canalizar o fluxo para aumentar a velocidade do vento incidente na turbina, produz uma grande quantidade de energia. Assim, para análise e determinação da quantidade de energia gerada pode-se empregar a Equação 1 que representa a potência mecânica disponível no vento segundo (Vian *et al.*, 2021).

$$P_{\text{vento}} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Para calcular o valor real da energia extraída do vento é implementado na Equação (1) um coeficiente de potência ( $C_p$ ) conhecido como limite de Betz, o qual é limitado a 59% da potência do vento disponível, assim, a Equação (1) passa a ser expressa pela Equação (2) (Manwell; McGowan; Rogers, 2010; Vian *et al.*, 2021).

$$P_{\text{extraída}} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad (2)$$

E de acordo com Marin (2016), a potência do rotor também pode ser determinada em função da velocidade angular do rotor, sendo esta expressa conforme a Equação (3), na qual ( $T$ ) é o torque gerado pelo rotor.

$$P = T \omega \quad (3)$$

Sabendo que a força na direção tangencial é uma função da posição azimutal, e que a rotação da lâmina do rotor poder ser varrida em 360° e ser discretizadas em N posições. O torque total gerado ao longo de uma rotação completa é encontrado através da soma das contribuições tangenciais correspondentes a cada uma dessas posições discretas (Marin, 2016). Assim, o torque gerado é encontrado pela Equação (4).

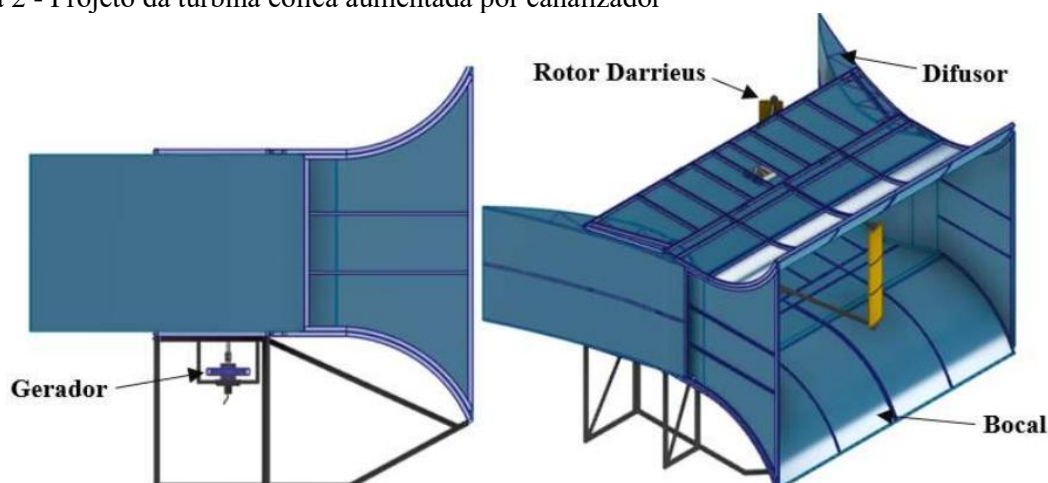
$$T = \sum_{i=1}^N \frac{F_t R}{N} \quad (4)$$

Para realizar o desenvolvimento do projeto seguiu-se a metodologia do PRODIP (Projeto de Desenvolvimento Integrado de Produto). Já para determinação das dimensões geométricas do rotor foi utilizado a metodologia desenvolvida pelos autores Brusca, Lanzafame e Messina (2014). Nesta metodologia de cálculo busca-se estimar os parâmetros geométricos de  $(Cp_{max}, \lambda_{max}, \sigma_{cp_{max}})$ , para um caso ideal, e obter os valores de corda do perfil aerodinâmico, raio do rotor e velocidade angular através de um cálculo iterativo em função do número de Reynolds. E para a determinação das forças aerodinâmicas, foi implementado um algoritmo em Matlab, utilizando a metodologia desenvolvida pelos autores Melo e Neto (2012), Kavade et al., (2024) e Silva (2020), os quais aplicaram essa metodologia para calcular o ângulo de ataque da lâmina, velocidade resultante e as forças aerodinâmicas ( $F_t$ ) que é a força tangencial, e ( $F_n$ ), força normal, a partir da de princípios de tubos de corrente, no qual, busca-se determinar a velocidade induzida na região de rotação do rotor. Já para análise de eficiência do canalizador utilizou-se simulações Fluidodinâmica Computacional (CFD) e para validação estrutural, Análise Elementos Finitos (FEA). É importante salientar que todas as equações necessárias e dados para os cálculos foram extraídos dos trabalhos dos autores citados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

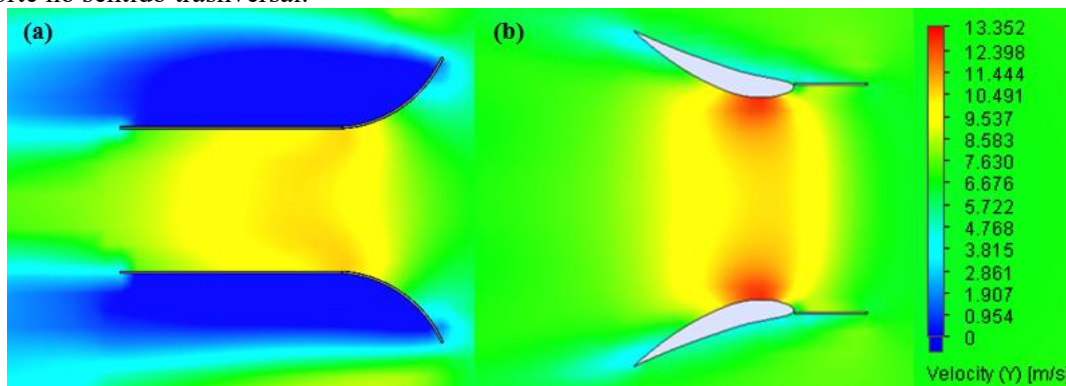
O aerogerador foi concebido para fácil instalação e transporte (montagem em partes móveis) em terraços ou estruturas dedicadas. Sua estrutura integra um canalizador com difusor para maximizar a velocidade do vento, acoplado a um rotor Darrieus de 3 lâminas para extração de energia e um gerador de ímã permanente para conversão em eletricidade. Sendo o canalizador projetado com base no modelo bocal/difusor, com as paredes laterais do difusor projetadas em forma de aerofólio NACA 9312, essa geometria foi adotada a fim de aumentar a velocidade do vento no centro do canalizador e para provocar uma queda de pressão a jusante da admissão para que um fluxo maior de ar seja admitido pela entrada do canalizador.

Figura 2 - Projeto da turbina eólica aumentada por canalizador



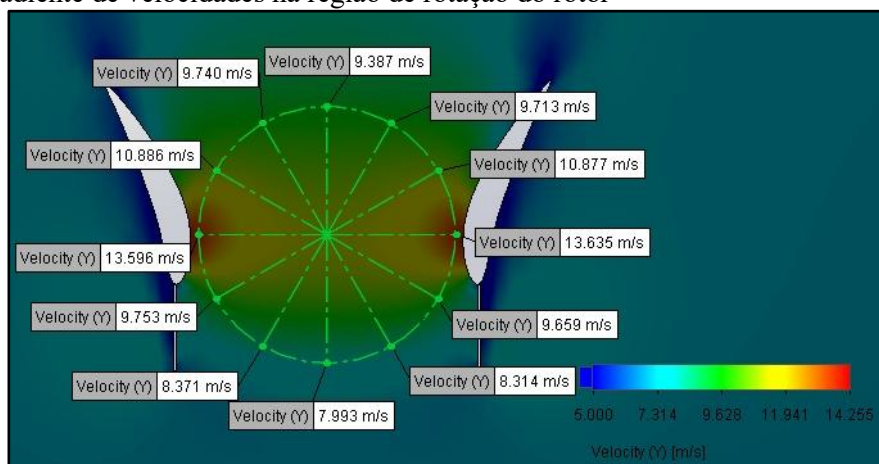
O rotor foi projetado utilizando o perfil aerodinâmico NACA 0018 e dimensionado, conforme metodologia de Brusca, Lanzafame e Messina (2014), com raio de 1,8 m, altura de 1,53 m e velocidade angular de 159,5 rpm (16,7 rad/s). O rotor é destinado a integrar um gerador elétrico de ímã permanente de 2 kW. A validação da geometria do canalizador ocorreu via Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), utilizando um modelo CAD simplificado. A simulação foi realizada em um túnel de vento virtual de 30x20x10 metros, com vento incidente de 7 m/s. As velocidades máximas obtidas são apresentadas na Figura 3. Os resultados das simulações demonstram como a geometria do canalizador influencia o comportamento do fluido. Sendo a região de maior velocidade localizada na região de rotação da lâmina do rotor o que contribui para geração de torque e maior ganho de potência.

Figura 3 - Gradiente de velocidade no canalizador, (a) vista em corte no sentido vertical e (b) vista em corte no sentido transversal.



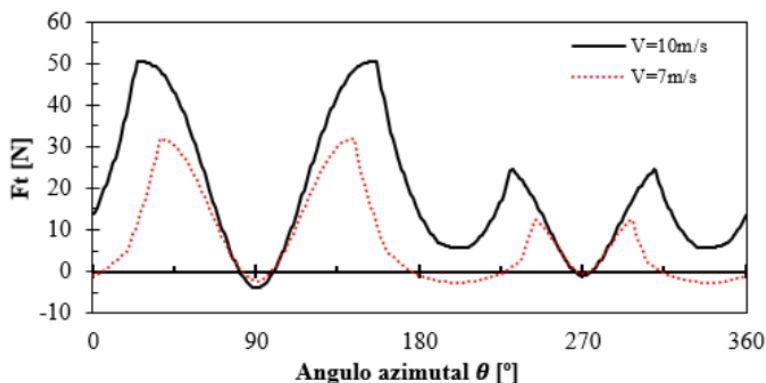
Já para as análises de desempenho aerodinâmico e da eficiência da turbina, definiu-se a velocidade do vento com base nos vetores de velocidade distribuídos ao longo do ângulo de rotação do rotor. A magnitude de cada vetor foi avaliada em pontos equidistantes de 30° ao longo do eixo de rotação (Figura 4). Realizando uma média das velocidades obtém-se uma velocidade de 10,16 m/s.

Figura 4 - Gradiente de velocidades na região de rotação do rotor



Assim utilizando o algoritmo desenvolvido seguindo a metodologia de Melo e Neto (2012), Kavade *et al.*, (2024) e Silva (2020), foi possível determinar a força tangencial resultante para uma lâmina do rotor, obtida a cada incremento de ângulo azimutal de 1° a 360° com incrementos de 1°, sendo o valor encontrado de 6780,22 N. O gráfico da Figura 5 ilustra a força tangencial para uma velocidade de vento de 7 m/s e para velocidade de vento aumentada pelo canalizador de 10 m/s.

Figura 5- Força tangencial



Portanto, a partir da Equação (4) foi determinado o torque gerado sendo este igual a 101,7 Nm. De posse do torque gerado e da velocidade angular do rotor de 16,7 rad/s e utilizando a Equação (3) determina-se a potência extraída pelo rotor, sendo esta igual a 1698,39 W. Para encontrar o coeficiente de potência da turbina é determinada a potência disponível do vento, considerando a área de entrada do bocal igual a 15,12m<sup>2</sup> e a velocidade do vento incidente de 7m/s pode-se encontrar o valor de potência disponível através da Equação (1). Sendo o valor encontrado igual a 3176,5 W. Portanto, a divisão da potência extraída pela potência disponível resultou no valor de coeficiente de potência igual a 0,53.

## CONCLUSÃO

O projeto de uma turbina eólica, que utiliza o princípio de Venturi, provou ser uma solução viável para gerar energia de forma eficiente, especialmente em áreas com baixa velocidade do vento. A análise computacional mostrou que o uso de um canalizador de fluxo aumenta a eficiência da turbina, resultando em um coeficiente de potência de 0,53. Com a aplicação de novas análises, como a adoção de materiais mais leves para o canalizador e a avaliação de perfis aerodinâmicos mais eficientes, espera-se elevar a eficiência global do sistema e tornar o projeto economicamente viável. Assim, para trabalhos futuros sugere-se:

- I. Realização de ensaios experimentais em túnel de vento, com o objetivo de obter parâmetros físicos mais precisos, como o TSR (Tip Speed Ratio) ótimo, contribuindo para uma avaliação mais robusta da eficiência do sistema;
- II. Investigação de novos perfis aerodinâmicos tanto para o canalizador quanto para as lâminas;
- III. Avaliação em campo do comportamento do sistema, considerando as condições reais de operação e as variações no regime de vento.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Jeferson Tondo. Desenvolvimento de uma nova turbina eólica de eixo vertical para microgeração de energia elétrica. Orientador: Ernesto Ruppert Filho. 2020. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.
- ALAIMO, Andrea et al. 3D CFD Analysis of a Vertical Axis Wind Turbine. *Energies*, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 3013-3033, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en8043013>. Acesso em: 08 set. 2024.
- LI, Guanghao et al., A Review: Design and Optimization Approaches of the Darrieus Water Turbine. *Sustainability*, v. 15, n. 14, p. 11308, 2023.
- BRUSCA, Sebastian; LANZAFAME, Rosario; MESSINA, Michele. Design of a vertical-axis wind turbine: how the aspect ratio affects the turbine's performance. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, v. 5, n. 4, p. 333-340, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40095-014-0129-x>. Acesso em: 30 maio 2024.
- MANWELL, James F.; MCGOWAN, Jon G.; ROGERS, Anthony L. *Wind energy explained: theory, design and application*. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2010.
- MELO, Rafael Romao da Silva; SILVEIRA NETO, Aristeu da. Integral analysis of rotors of a wind generator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 7, p. 4809-4817, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.011>. Acesso em: 03 set. 2024.
- VIAN, Ângelo et al. *Energia eólica: fundamentos, tecnologia e aplicações*. São Paulo: Editora Blucher, 2021.
- OLIVEIRA, Michel Braulio; GARCIA, Valdomiro Vega. ESTUDO DE PREVISÃO NA VELOCIDADE DO VENTO: Aplicação Prática de Inteligência Artificial na Busca e Uso de Energia Eólica. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 23, n. 1, p. 174-203, 2023.
- MIRITZ, Suzane. **Design de difusor aerodinâmico para turbina eólica de eixo vertical**. Orientador: Luis Henrique Alves Cândido. 2019. 149 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- VIAN, Ângelo *et al.* *Energia eólica: fundamentos, tecnologia e aplicações*. São Paulo: Editora Blucher, 2021.